

# Audio CDs

11.06.2006 / GPN 5

BernhardKausler@compuserve.de



# Hubbeln auf CD = 101101011 ?

- Kleine Hubbel sind die 1en
- Kleine Löcher sind die 0en
- Laser liest irgendwie Hubbel und Löcher
- 101010001 ist Musik/Daten

# Gliederung

- 1 Physik und Physikalisches
  - Maße
  - Herstellung einer CD
  - Lesen der CD
- 2 Informatik und Informatorisches
  - Digitale Töne
  - Fehlerkorrektur
  - Kodierung des Audio-Signals auf der CD
- 3 Faksimile und Verhinderungen

# Gliederung

- 1 Physik und Physikalisches
  - Maße
  - Herstellung einer CD
  - Lesen der CD
- 2 Informatik und Informatorisches
  - Digitale Töne
  - Fehlerkorrektur
  - Kodierung des Audio-Signals auf der CD
- 3 Faksimile und Verhinderungen

# Maße der CD

Durchmesser des Loches:  
Niederländisches 10 Cent Stück

# Durchmesser einer Kasette

Beethovens 9. ?

# Gliederung

- 1 Physik und Physikalisches
  - Maße
  - Herstellung einer CD
  - Lesen der CD
- 2 Informatik und Informatorisches
  - Digitale Töne
  - Fehlerkorrektur
  - Kodierung des Audio-Signals auf der CD
- 3 Faksimile und Verhinderungen

# Der Rohstoff - Polycarbonat

Materialwert etwa 5 Cent



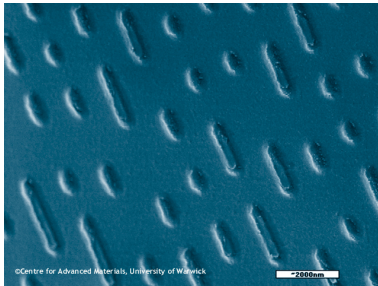
# Schmelzen des Polycarbonat

# Prägung durch die Matrize

# Aufdampfung der Reflexionsschicht

Reflexionsschicht aus  
Aluminium, Silber oder Gold

# Die Pits im Detail



## Pits und Land

- Spurbreite  $1,6 \mu\text{m}$
- Pitbreite  $0,5 \mu\text{m}$
- Spurbreite einer dt. Autobahn  $3,5\text{m}$   
 $\Rightarrow$  Autobahn mit ca. 262 km Breite

# Gliederung

- 1 Physik und Physikalisches
  - Maße
  - Herstellung einer CD
  - Lesen der CD
- 2 Informatik und Informatorisches
  - Digitale Töne
  - Fehlerkorrektur
  - Kodierung des Audio-Signals auf der CD
- 3 Faksimile und Verhinderungen

# Laser liest CD

- roter Laser 780nm
- Pittingtiefe ein Viertel der Wellenlänge => Laufzeitunterschied => Interferenz
- Pit-Land Übergang wird als 1 gelesen. 0en werden »ausgezählt«.

## Fact

*Die Channelbits sind  
Timing-Vorschriften!*

# Gliederung

- 1 Physik und Physikalisches
  - Maße
  - Herstellung einer CD
  - Lesen der CD
- 2 Informatik und Informatorisches
  - Digitale Töne
  - Fehlerkorrektur
  - Kodierung des Audio-Signals auf der CD
- 3 Faksimile und Verhinderungen

# Abtasten eines Audio-Signals

Abtasten der Signal-Amplitude  
mit einer bestimmten Frequenz



# Abtasttheorem

## Theorem

*Ein Audio-Signal lässt sich verlustfrei rekonstruieren, wenn es mit mindestens der doppelten Frequenz abgetastet wird.*

# Quantisierung

z.B. mit 4 Bit  $\Rightarrow$  16  
Quantisierungsstufen

# Pulse Code Modulation (PCM)

# Spezifikation der Audio-CD

- Quantisierung mit 16 Bit, Stereo.  $2^{16} = 65536$  Stufen
- Zur Aufzeichnung des Audiosignals wurde ein PAL-Videorekorder benutzt
- 96 Bit pro Videozeile - 294 Zeilen - 50 Bilder pro Sekunde
- $96 \cdot 294 \cdot 50 = 1411200$  Bit pro Sekunde
- bei  $2 \cdot 16$  Bit pro Sekunde: 44100 Werte pro Sekunde
- 74 Minuten Spielzeit

# Gliederung

- 1 Physik und Physikalisches
  - Maße
  - Herstellung einer CD
  - Lesen der CD
- 2 Informatik und Informatorisches
  - Digitale Töne
  - Fehlerkorrektur
  - Kodierung des Audio-Signals auf der CD
- 3 Faksimile und Verhinderungen

# Fehler entdecken mit Paritätsbits

- Auszählen der 1en und 0en eines Datenwortes
- Ein Paritätsbit ergänzen, so dass Anzahl der 1en gerade wird
- Ist nach Übermittlung des Signals die Anzahl ungerade, muss ein Fehler aufgetreten sein

## Example

1101001010101 Sieben 1en

1101001010101|1 Ergänzung einer 1 als Paritätsbit

# Komplexere Paritätsverfahren

10	04	04	02	20
05	04	11	02	22
01	12	06	03	22
00	07	12	06	25
16	27	33	13	89

10	04	04	02	20
05	04	11	02	22
01	18	06	03	22
00	07	12	06	25
16	27	33	13	89

# Flächenfehler vermeiden mit Interleaving



# Fehler ausbessern: Verdeckung

- Stumm schalten (mit Hilfe einer Verzögerungsschaltung)
- Interpolation
- Qualität der Verdeckung abhängig vom CD-Spieler (HIFI!)

# Cross Interleave Reed-Solomon Code (CIRC)

- Audio-CDs benutzen CIRC zur Fehlerkorrektur
- Kombination aus zwei Paritätscodes und drei Interleaving-Stufen
- Tatsächliche Qualität der Fehlerkorrektur abhängig vom CD-Spieler

# Gliederung

- 1 Physik und Physikalisches
  - Maße
  - Herstellung einer CD
  - Lesen der CD
- 2 Informatik und Informatorisches
  - Digitale Töne
  - Fehlerkorrektur
  - Kodierung des Audio-Signals auf der CD
- 3 Faksimile und Verhinderungen

# Was wird alles auf der CD gespeichert?

- Das Audio-Signal als PCM kodiert
- Fehlerkorrektur-Informationen
- Informationen zu Anzahl der Titel, Anfangs- und Endzeitpunkte, Spielzeiten etc.: der sog. »Subcode«

# Der Datenstrom wird in Frames unterteilt

- Sechs PCM-Samplingabschnitte zu 32 Bit: abwechselnd 16 Bit linker und rechter Kanal. Insgesamt 192 Datenbits.
- Danach werden die Datenwörter mit Hilfe von CIRC kodiert. Zusätzliche 64 Paritätsbits.
- Anschließend anhängen von 8 Bit Subcode.

# Fertige Frames werden noch einmal moduliert

- Eight-to-Fourteen-Modulation: EFM
- 8 Bit werden auf jeweils 14 Bit umgesetzt ( $1 < \text{Anzahl der Nullen} < 11$ )
- Einfügen von drei Trennbits pro 14 Bit Symbol
- Anschließend noch 24 Kanalbits zur Synchronisierung (Winkelgeschw.  $\Rightarrow$  CD timet sich selbst!)

# Wieviel Platz bleibt für die Daten?

- Jedes Frame belegt insgesamt 588 Bits bei 192 Bit Audiodaten.

## Fact

*Nur 33% der CD speichert tatsächlich Nutzdaten*

# Grundsätzliche Techniken

- Kopierschutz Flag im Subcode (ursprünglich)
- Einfügen von defekten Samples in den Datenstrom
- Illegale Table of Content (TOC)
- Illegaler Subcode
- Softwaretechnische Maßnahmen (Windows-Autostart etc.)



# Defekte Samples

- Absichtlich falsche Samples werden eingefügt
- Audio-CD-Player korrigiert Samples durch Interpolation
- CD-Rom Laufwerk korrigiert nicht => Klicken im Audio-Signal
- Herstellerseitig minderwertige Audiodaten!!

## Example

SafeAudio von Macrovision

# Illegale TOC

- CD enthält mehrere Sessions
- Audio-CD Player sieht nur die erste Session mit gültiger TOC
- CD-ROM Laufwerk sieht alle Sessions
- Restliche Sessions enthalten zusätzliche TOCs mit widersprüchlichen Informationen
- Alternativ: Mehrere widersprüchliche TOCs hintereinander in der gleichen Session

## Example

MediaCloQ and MediaMax CD3 von SunnComm

# Illegaler Subcode

- Audio-CD Player springen zu Beginn eines Tracks und spielen diesen ohne zusätzliche Adressierungen am Stück ab (-> Schallplattenspieler)
- CD-ROM Laufwerke arbeiten Block orientiert und überprüfen auch Adressierungen innerhalb des Tracks
- Leicht verschobene Adressinformationen im Subcode innerhalb des Tracks sollen zu Aussetzern und Stottern führen
- Keine gesicherten Informationen über diese Methode. Wurde anscheinend noch nicht in freier Wildbahn beobachtet.

## Example

Cactus Data Shield von MidBar (wahrscheinlich)

# Software Maßnahmen

- Das Sony Rootkit: XCP von First 4 Internet
- Installiert sich über den Windows Auto-Start
- Filtert CD Zugriffe
- Versteckt alle Daten, die mit \$sys\$ beginnen => von anderen Schädlingen ausnutzbar

# Fragen

Fragen?